

# Experiencia docente en Automática empleando un robot móvil como elemento motivador de metodologías activas

Muñoz-Ramírez, Antonio J. <sup>(1)</sup>; Gómez-de-Gabriel, Jesús M. <sup>(2)</sup>;

(1) Departamento Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Málaga, aj@uma.es

(2) Departamento Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Málaga, jesus.gomez@uma.es

---

## Resumen

Este trabajo presenta la experiencia de la utilización de un robot móvil para motivar a los estudiantes en una asignatura de grado de ingeniería, que combina las metodologías activas de docencia tales como, la clase invertida, el aprendizaje basado en proyectos, y el aprendizaje colaborativo; junto con el empleo de herramientas TIC como el portafolios electrónico, videotutoriales, y presentaciones PechaKucha.

**Palabras clave:** docencia en automática, metodologías activas, robot móvil, aprendizaje colaborativo

## I. Introducción

Los nuevos títulos de grado centrados en la adquisición de competencias, obligan a adaptar la docencia de las asignaturas hacia un nuevo modelo, donde las competencias son el núcleo de aprendizaje. La tecnología actual ofrece herramientas tales como los entornos de trabajo centrados en el docente como el campus virtual, con Moodle como implementación más extendida, o centrados en el aprendizaje del estudiante como el portafolio electrónico, con “Mahara” una de las implementaciones de mayor difusión; la grabación y producción de vídeos, presentaciones digitales, etc; cuyo dominio garantiza la adquisición de competencias en TIC. Por otra parte, el empleo de metodologías activas centradas en el aprendizaje consigue alcanzar varias competencias de las consideradas claves tanto para el aprendizaje permanente (DO UE L 394 de 30.12.2006) como para su empleo en la futura vida profesional (DE JUANAS OLIVA, 2010). De ambas destacan en común las competencias centradas en el aprender a aprender que además es señalada por los estudiantes en como la más valorada por los estudiantes universitarios(ANECA, 2007).

Frente a la docencia tradicional caracterizada por la clase magistral teórica y de resolución de problemas, junto con unas prácticas donde existe un guion preestablecido que el estudiante repite, se está posicionando cada vez más, una docencia innovadora con inclusión de metodologías activas, tales como:

- La clase invertida o “flipped learning” (BISHOP et al, 2013), donde el estudiante es convidado a preparar el tema antes de tratarse en el aula.
- El aprendizaje colaborativo, en el cual los estudiantes se agrupan para aprender unos de otros maximizando la eficiencia del aprendizaje (SANTIVERI MORATA et al, 2011)
- El aprendizaje basado en proyectos (ABP o más conocido por sus siglas inglesas PBL) plantea satisfacer una necesidad un objetivo, aplicando para ello el contenido de la materia a aprender. Y cuya máxima es hacer recorrer un camino al estudiante de tal forma que cuando llegue a la meta habrá adquirido los conocimientos y capacitaciones que se exigen para superar la materia (SORIA et al, 2015).

La transformación de la mentalidad del estudiante para que éste asuma su responsabilidad en el aprendizaje de la materia, es un hándicap al que se le une una mayor carga de trabajo, que si no obtiene resultados inmediatos conduce a una desmotivación y abandono de las tareas. El objetivo del empleo de una plataforma robótica móvil denominada PIERO (de Proyecto de Innovación Educativa en Robótica) (GIL LOZANO et al, 2014), es disponer de un demostrador físico donde los estudiantes visualizan los resultados de su aprendizaje de forma rápida, al mismo tiempo que toman conciencia de las capacitaciones que van adquiriendo y todo ello manipulando un “robot” con el grado de motivación que este hecho conlleva.

La labor de construir un robot móvil se ha visto facilitada por la reducción de costes tanto en sistemas mecatrónicos, sensores, pero especialmente en sistemas embebidos, con la proliferación de plataformas de

hardware abierto como la de Arduino o especialmente diseñadas para educación como la Raspberry Pi. Ello ha hecho posible la creación del robot PIERO (ver Fig. 1) por parte de los autores de este trabajo.

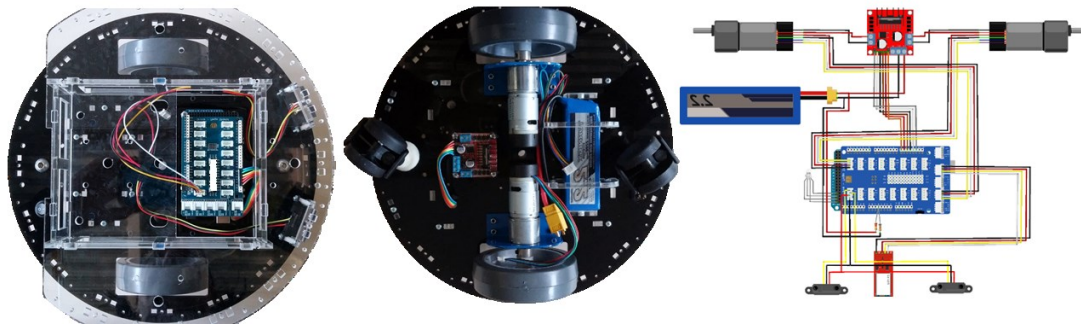


Figura 1. Vistas superior e inferior de la plataforma robótica PIERO y su esquema de componentes.

### 1.1 La plataforma PIERO

Las plataformas robóticas PIERO consisten en un robot móvil con tracción diferencial y basadas en Arduino han demostrado una gran robustez y versatilidad para el empleo en diferentes asignaturas de robótica, control y mecatrónica. La plataforma posee un sistema modular para re- configurar su sistema sensorial y un sistema centralizado donde se pueden apreciar los siguientes componentes principales de su configuración más básica (véase Fig. 1): dos servomotores motores provistos de codificadores angulares incrementales de efecto hall (con 1 grado de resolución), un circuito de potencia basado en un puente-h doble de hasta 2 Amperios, una batería de polímero de litio de tres celdas en serie y 2200mAh, un Arduino dotado de una “shield” para facilitar el cableado, un LED RGB como sistema de señalización visual de eventos como el de batería baja, dos sensores analógicos de distancia por infrarrojos y un módulo de comunicaciones Bluetooth.

PIERO se desarrolló para la asignatura amparados por un proyecto de innovación educativas con los siguientes objetivos formativos específicos:

- Analizar los componentes de un sistema mecatrónico.
- Diseñar un sistema de control básico, realizar su programación y verificar el resultado sobre un sistema real.
- Comprender la diferencia y significado entre elementos en tiempo continuo y en tiempo discreto, realizar el modelado y simulación de un sistema mecatrónico.
- Diseñar, sintonizar e implementar controladores PID, verificando los resultados tanto en simulación como en un sistema mecatrónico real.

Otros objetivos perseguidos, esta vez transversales son:

- Interacción personal.
- Capacidad de análisis.
- Síntesis de ideas.
- Entender para explicar.
- Hacerse entender y transmitir.

## II. Metodología

“Regulación Automática” es una asignatura obligatoria de 6 créditos, impartida en el tercer curso del grado de Ingeniería Electrónica Industrial, es la segunda asignatura de automática que cursan los estudiantes. El cambio en la metodología docente se realizó en el curso 2014-2015 impartándose así hasta la actualidad.

Un impedimento en la transformación de la asignatura y en la utilización del robot Piero, es el aumento de tiempo que conlleva el hecho de hacer que las soluciones adoptadas funcionen en un sistema real, que a diferencia de un modelo simulado no se caracteriza porque todo es perfecto, ideal y funciona casi siempre en el primer intento. Para subsanarlo, un elemento fundamental es la eficiencia a la hora de implementar los conocimientos en diseños y estos a su vez en el robot para testear la validez de los mismos en el sistema real. Dicha eficiencia, se ha obtenido con la utilización de la ingeniería basada en modelos (MUÑOZ-RAMÍREZ et al, 2016), en particular la programación basada en bloques con generación automática de código aportada por los modelos de dominio específicos dados por la herramienta Simulink, que además permite la integración de

las herramientas de control, de identificación de sistemas, de modelado físico (SimScape), y de sintonización de controladores (PID Turner); todas ellas pertenecientes al programa Matlab.

La docencia en la asignatura se imparte utilizando la metodología basada en proyectos, en particular toda la materia se integra en un único proyecto con cuatro hitos. Cada hito corresponde a una unidad temática en donde para su realización se recurre al trabajo colaborativo y a la clase invertida mediante la metodología puzle (VALERO GARCÍA et al, 2009), realizándose un puzle por cada hito.

La asignatura en su formalización como PBL se tiene siguiente enunciado que se presenta a los estudiantes:

ESCENARIO
Un departamento de robótica ha construido una plataforma móvil denominada PIERO, con tracción diferencial mediante dos motores eléctricos (provistos de sensores de posición del eje), y alimentados a través de un amplificador de potencia gobernado por una tarjeta tipo Arduino Mega 2540. Nos pide que como ingenieros estudiemos la plataforma y desarrollemos todo lo necesario para que pueda ser controlada con consignas de velocidad lineal y angular. Habría pues que realizar una caracterización mecánica y eléctrica del vehículo y desarrollar el software necesario para que se ejecute en el Arduino. Como ayuda el departamento nos ha suministrado la herramienta software Matlab y nos asegura su idoneidad para la creación de este software de control.
PREGUNTA MOTRIZ
¿Cómo podría Piero, partiendo de un lugar predeterminado, salir del laboratorio por sí mismo?
PRODUCTO
Software documentado que permita a Piero salir del laboratorio de forma controlada y video de PIERO con la trayectoria de salida del laboratorio.

Con el fin de no espantar a los alumnos el primer día se les suministra PIERO, para que tomen contacto con él, y se muestra un vídeo del producto obtenido en el curso anterior, lo cual hace más verosímil la consecución la meta planteada.

Los cuatro hitos en los que se descomponen el PBL poseen los siguientes epígrafes:

HITO 1: Conocer lo que tenemos
HITO 2: Modelado de los motores de Piero
HITO 3: Control de motores y errores de modelado
HITO 4: Mover a Piero con control discreto y consignas de velocidad

Se forman grupos base (mismos integrantes durante toda la asignatura) de tres alumnos, y el puzle de cada hito se divide en un número de tareas múltiplos de 3 junto con la tarea integradora. Así para el HITO 1 se tiene una descomposición que se esquematiza en la Fig. 2, por otra parte, la secuencia de la realización del puzle viene dada por:

1. Asignación de las tareas ROBOT, SIMULINK y ARDUINO (cada estudiante se estudia un tema en casa → “experto del tema”). **Entrega:** texto con 10 tópicos o cuestiones por tema.
2. Reunión de expertos (en aula, con grupos expertos  $\leq 4$ ). **Entrega:** texto unificado con tópicos y cuestiones ordenados por relevancia. El profesor unifica informes que se discuten y corrigen en clase.
3. Los expertos toman nota y trabajan. **Entrega:** vídeo de explicación del tema.

4. Los expertos de cada grupo explican la materia al resto de componentes del grupo para realizar la siguiente tarea. (fuera de clase)

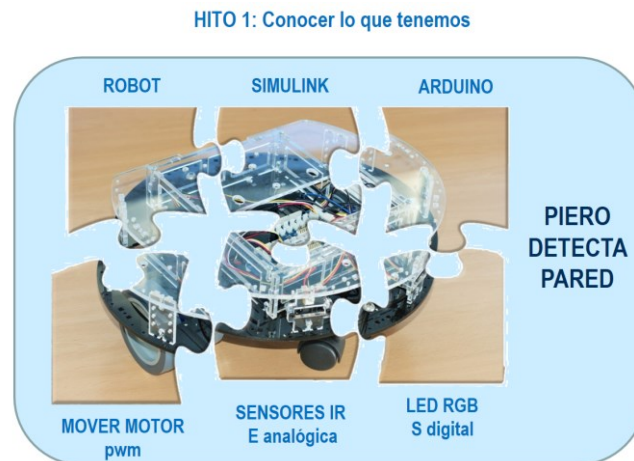


Figura 2. Desglose de las tareas que componen el puzzle del hito 1, junto con la tarea integradora.

5. Asignación de las tareas MOVER MOTOR, SENSORES IR y LED RGB. Trabajo en clase y **Entrega:** video de explicación de la tarea realizada. El profesor supervisa y atiende el desarrollo de las tareas (depuración)
6. Asignación de la tarea integradora: PIERO DETECTA PARED
7. Trabajo en clase. **Entrega:** video de Piero realizando la tarea. El profesor supervisa y atiende el desarrollo de la tarea (modelado y depuración).
8. Trabajo fuera de clase: elaboración de la documentación y la producción de videos para crear una página de evidencias en el portafolios electrónico (Fig. 3).



Figura 3. Videos de evidencias de aprendizaje del hito 1.

9. Trabajo en clase: revisión y consultas del profesor sobre el contenido del portafolios (Fig 4).
10. Trabajo fuera de clase: elaboración de una presentación PechaKucha (20 diapositivas a 20 segundos cada una, solución óptima de 6' 40").
11. Exposición de la presentación donde de forma aleatoria un integrante expone las 10 primeras diapositivas, el segundo las restantes, mientras que el tercero de asistir de apoyo a ambos. El profesor discute sobre los aciertos y deficiencias de la presentación, realiza cuestiones a los ponentes y evalúa en consecuencia.
12. Una vez concluye la exposición de todos los grupos, se discute cual fue el peor y cual el mejor, con la intención del que toda la clase participe y afiance su espíritu crítico.

Con este plan, la realimentación sobre el aprendizaje del alumno es inmediata y el profesor se encuentra en mejores condiciones de guiar a aquellos estudiantes que manifiesten deficiencias en el aprendizaje. El resto de hitos posee una secuencia similar a la mostrada para el hito 1.

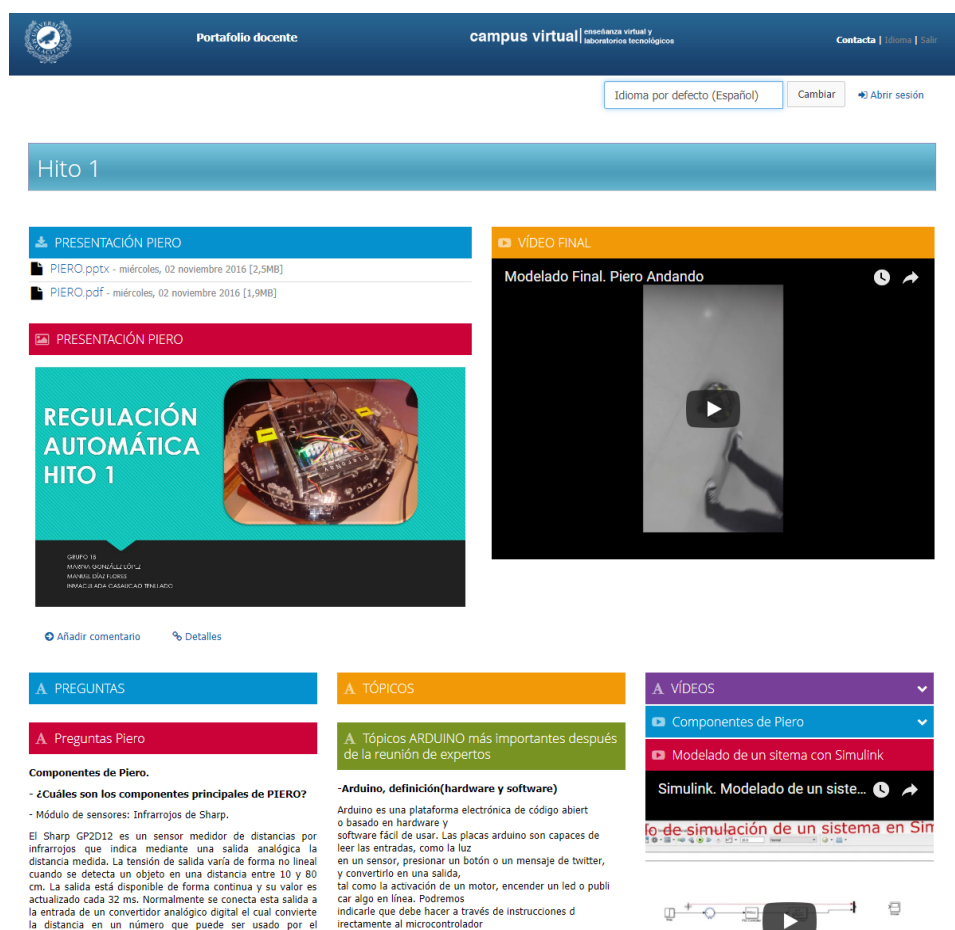


Figura 4. Vista parcial de la página del portafolios electrónico con los productos del hito 1.

### III. Evaluación

La consecución de todos los objetivos como resultado de su aprendizaje determinará la superación de la asignatura. La nota alcanzada por el grupo es función del trabajo colaborativo e individual, de la calidad de los objetivos y la documentación, y de la exposición. Mientras que la nota individual viene dada por sus pares dentro del grupo con supervisión del profesor. La nota del grupo venía dada en los dos cursos anteriores al 30% por el resto de los estudiantes y al 70% por el profesor con rúbrica, sin embargo, a criterio de las encuestas realizadas por los estudiantes, este método se ha descartado.

A pesar de ser el número de integrantes del grupo reducido, existe la posibilidad de que uno de los integrantes apoyándose en sus compañeros, no alcance el nivel de aprendizaje exigido y pase desapercibido por parte del profesor (estudiante zombi). Para evitarlo, el curso pasado se realizó un examen de competencias sobre Piero, donde en un breve periodo de tiempo los estudiantes de forma individual eran requeridos para implementar una determinada tarea sobre Piero, completar la tarea era necesario para aprobar, pero sin aporte de nota. Por último, se fijan tareas de recuperación para la segunda convocatoria ordinaria con hitos y defensa individuales donde se realiza el testeo de la calidad y autoría del resultado.

### IV. Resultados

La metodología presentada se ha impartido durante tres años con 40 estudiantes de media por curso, variando el número de integrantes del grupo desde siete a los tres actuales que se considera óptimo, ello se ha conseguido compartiendo un robot Piero entre dos grupos; dado que el tiempo de prueba final es bastante más pequeño que el de desarrollo de la solución. Los grupos han sido formados por los estudiantes tras el criterio mayoritario sobre la forma de realizarlo, prefieren lo malo conocido a las posibles fricciones.

Las clases magistrales previas al estudio de la materia se han eliminado, también la aportación de documentación inicial. Las explicaciones se realizan tras las reuniones de expertos y basándose en los informes que estos han realizado. Los alumnos se sienten muy motivados y satisfechos, siendo nulo el número de abandonos de la asignatura, no así el de suspensos que existe de forma casi residual (uno por presentado).

## V. Conclusiones y discusión

El uso del robot móvil PIERO ha aumentado en un alto grado la motivación de los estudiantes al enfrentarse a un “robot” que mueve y controlan, y que pueden versionar. No obstante, ha requerido un mayor esfuerzo para el profesor por el aprendizaje MDE para Arduino, pero al mismo tiempo muy satisfactorio. En especial el hecho de emplear el mismo modelo/diagrama para sintonizar controladores y programarlo en el Arduino.

El robot PIERO se ha mostrado muy robusto, salvo por algunas roturas de reductora debido a controladores mal sintonizados, lo que ha permitido dotar a los estudiantes de la capacidad de diseñar e implementar sistemas de control sobre un sistema real, quedando asumida dicha capacidad por el alumno.

La nueva forma de impartir la docencia de la asignatura, ha supuesto una revolución tanto para los estudiantes como para los profesores, mientras que los objetivos planteados inicialmente se han cumplido en su mayoría, sin embargo, quedan pendientes la mejora de algunos elementos, tales como:

- La documentación del aprendizaje autónomo, la elaboración de una guía para la creación de contenidos normalizados en el portafolios digital.
- La utilización de referencias, con el uso un gestor bibliográfico, en particular la Universidad de Málaga ha adquirido una cuenta corporativa de Mendeley, por lo que su inclusión supondrá una capacitación más de las adquiridas en la asignatura.
- El espíritu crítico, para ello en el próximo curso se implantará una evaluación por pares donde lo que se puntúa será la propia evaluación.

Para terminar, un elemento que todavía no se ha evaluado es el impacto en la metodología docente del incremento del número de estudiantes. El éxito de esta metodología radica en la supervisión directa del profesor sobre los grupos y de la disponibilidad de equipos sobre los que realizar la implementación de los conceptos estudiados, por lo que surge la duda de su traslación a grandes grupos sin apoyo docente y material.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos de Innovación educativa de la Universidad de Málaga PIE15-180 y PIE17-118.

## Referencias

- ANECA. (2007). Reflex: El profesional flexible en la Sociedad del Conocimiento. Retrieved from [http://www.aneca.es/var/media/151847/informeejecutivoaneca\\_jornadasreflexv20.pdf](http://www.aneca.es/var/media/151847/informeejecutivoaneca_jornadasreflexv20.pdf)
- BISHOP, J. L.; VERLEGER, M. A. (2013). The flipped classroom : A survey of the research. Proceedings of the Annual Conference of the American Society for Engineering Education, 6219.
- DE JUANAS OLIVA, Á. (2010). Aprendices y competencias en el Espacio Europeo de Educación Superior Learners and skills in the European Higher Education Area. Revista de Psicología Y Educación, 1(5), 171–186.
- DO UE L 394 de 30.12. (2006). RECOMENDACIÓN DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 18 de diciembre de 2006 sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente. Diario Oficial de la Unión Europea (Vol. 12).
- GIL LOZANO, J. E.; MUÑOZ RAMÍREZ, A. J.; TORRES, V. L.; GOMEZ, J. M. (2014). Uso de Simulink y Arduino para Prácticas de Robótica. In Actas de las XXXV Jornadas de Automática (pp. 3–5). Valencia, Spain: Comité Español de Automática (CEA-IFAC).
- MUÑOZ-RAMÍREZ, A. J.; GÓMEZ-DE-GABRIEL, J. M. (2016). Modelar o programar en prácticas de robótica. In XXXVII Jornadas de Automática (p. 7). Madrid: Comité Español de Automática (CEA-IFAC). <https://doi.org/ISBN: 978-84-617-4298-1>
- SANTIVERI MORATA, F.; IGLESIAS RODRÍGUEZ, C.; GIL IRANZO, R.; ROURERA JORDANA, R. (2011). Metodologías activas en la docencia universitaria: resultados de algunas experiencias realizadas. In IX Jornades de xarxes d'investigació en docència universitària [Recurso electrónico]: Disseny de bones pràctiques docents en el context actual (p. 81).
- SORIA, I. N.; GONZÁLEZ GÓMEZ, C.; BOTELLA PÉREZ, P. (2015). Aprendizaje basado en proyectos: Diferencias percibidas en la adquisición de competencias por el alumnado universitarios Project-based learning: Perceived differences on the acquisition of skills by university students. Revista de Psicología Y Educación, 10(1), 55–76.
- VALERO GARCÍA, M.; VAQUERIZO GARCÍA, M. B. (2009). Puzzles mejorados con mapas conceptuales. In Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI).